



Наука и образование в современном мире. Сборник научных трудов, выпуск 2(9): по материалам IX международной научно-практической конференции, Москва, 29 февраля 2016 г.

**Овчинников Е.Л., Адыширин-Заде К.А., Александрова Н.Н.,
Владимирова Т.Ю., Минаева Т.И.**

**КОМПЬЮТЕРНАЯ БИОЛОГИЯ ВНУТРЕННЕГО УХА:
ОРГАН КОРТИ.**

2. РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ (ОСЕВЫХ) ПАРАМЕТРОВ

Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

doi: 10.18411/sc2016-02-23-27

Реферат

Цель: Расчет длины кортиева органа и средней плотности распределения слуховых рецепторов.

Объекты: Пациенты при аудиометрическом обследовании.

Методы: Аудиометрическое обследование пациентов, биоматематическое (компьютерное) моделирование, численные методы математического анализа.

Результаты: По установленному распределению координат слуховых рецепторов и аудиометрически установленным верхней и нижней пороговым частотам воспринимаемого звука разработан неинвазивный способ расчета длины кортиева органа и средней плотности распределения слуховых рецепторов.

Ключевые слова: акустическая модель слуха по Овчинникову; распределение слуховых рецепторов по частотам, линейные параметры кортиева органа.

ВВЕДЕНИЕ

Преобразование энергии звуковых волн от внешних источников в энергию ощущений происходит в периферическом отделе слухового анализатора, в его спиральном органе – органе Корти. Теория слуха по Н. Helmholtz [1], классические эксперименты по слуховым явлениям [2, 3], их теоретическое обоснование с выдвиганием экспериментально-статистических положений [4, 5] и последующим анализом стали основой акустической модели слуха [6, 7]. Модель опирается на реальные биофизические процессы во внутреннем ухе, она получила солидное научное обоснование, представленное как полумодель в патенте [8], статьях [9, 10], и как полная модель – в работе [11] и монографии [12]. Более того, она не только соответствует наблюдаемым результатам [13], но и позволяет прогнозировать многие слуховые эффекты [14].

Механизм генерации нервных импульсов, способствующих слуховым ощущениям, запускается именно органом Корти. В предыдущей статье [15] рассматривалось взаимоотношение органа Корти с другими структурами кохлеарного протока, здесь впервые предпринят аналитический расчет его осевой длины и дана первичная оценка межсенсорных расстояний..

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

К концу XIX в., благодаря уточнениям в тонких деталях строения структур внутреннего уха, их расположении и иннервации, волосковые клетки были окончательно идентифицированы как рецепторные, а кортиев орган – как структура, преобразующая механическую энергию поступающего в ухо звука в нервные (электрические) импульсы, провоцирующие слуховые ощущения.

Кортиев орган и волосковые клетки

Главной структурой внутреннего уха является слепой заканчивающийся проток, работающий как частотно-амплитудный преобразователь звуковой энергии. Он ограничен от вестибулярной лестницы мембраной окна преддверия, а от барабанной лестницы – базилярной мембраной. Внутри протока находится система текториальной и сетчатой мембран, разделяющая его содержимое на две части: эндо- и кортилимфатический протоки.

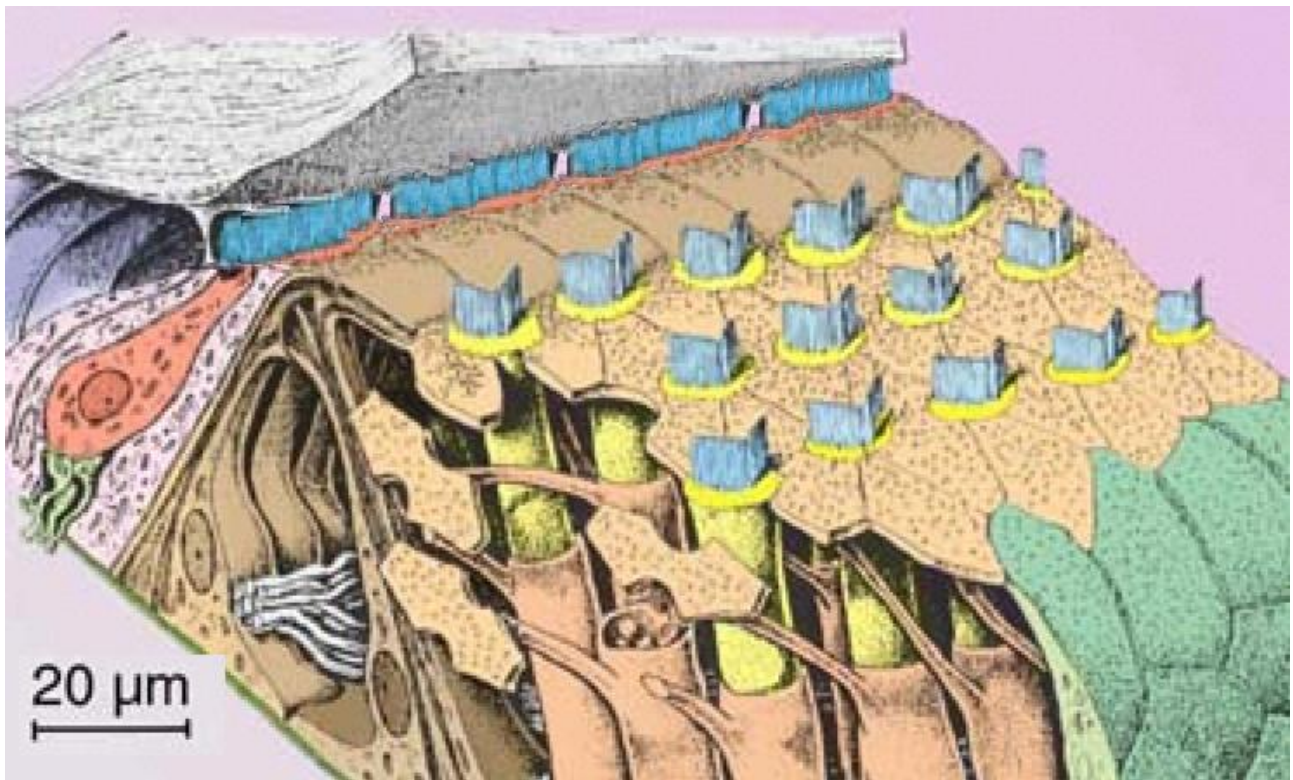


Рис. 1. Кортиев орган и окружающие его ткани в 3D–представлении (по R.V. Krstić, 2004)

Внутрилабиринтные жидкости имеют разный химический состав, поэтому в области геликотремы должна существовать некоторая структура, не позволяющая жидкостям смешиваться. Ее наличие пока экспериментально не установлено, хотя теоретические представления о ней уже существуют.

На базилярной мембране находятся рецепторы – внутренние и внешние волосковые клетки. И хотя нам уже известно назначение рецепторных клеток, но конкретная их функциональная роль также еще не разграничена.

Расчет длины кортиева органа

Рецепторные клетки, способные к преобразованию звуковой энергии в сигналы, приводящие к слуховым ощущениям, – основа кортиева органа. По локализации он совпадает с улитковым протоком, а по длине – с его функциональной длиной, которой остается та его часть, где располагаются рецепторы. Именно эта часть улиткового протока совпадает с расположенным на ней органом Корти.

Напомним, что распределение координат слуховых рецепторов по частотам, определяемое акустической моделью слуха по Овчинникову [11, 12], позволяет установить связь длины L_{cd} улиткового протока, на котором расположены рецепторы, воспринимающие максимальную (верхнюю пороговую) частоту звука f_{max} , в сравнении с его стандартной $L_0 = 32$ мм, воспринимающей частоту $f_{mo} = 20$ кГц,

$$L_{cd} = L(f_{max}) = L_0 \cdot 2^{\frac{21g \cdot f_{max}}{f_{mo}}} . \quad (1)$$

Расчёт возможен на основе аудиометрического определения верхней границы восприятия человеком частоты f_m (рис. 2). кортиева органа

Напомним также, что ширина апикальной связки мембран улиткового протока, которой поглощены приапикальные рецепторы кортиева органа, в результате чего эта часть протока становится неработающей, при нижней пороговой частоте f_{min} , может быть установлена соотношением

$$L_{ao} = L(f_{min}) = L_0 \cdot 2^{\frac{21g \cdot f_{min}}{f_{mo}}} . \quad (2)$$

которое служит математической моделью расчета ширины апикальной связки мембран. При восприятии испытуемым меньшей, по сравнению со стандартной, частоты звука можно говорить об узости апикальной связки мембран, и наоборот.

Тогда длиной кортиева органа $L_{ок}$, как и длиной функциональной (эффективной, рабочей) части улиткового протока, мы будем считать величину, равную разности длины улиткового протока в целом и его апикальной связки, т.е. (рис. 2)

$$\begin{aligned} L_{ок} &= L_{cd} - L_{ao} = L(f_{max}) - L(f_{min}) = \\ &= L_0 \cdot \left(2^{\frac{21g \cdot f_{max}}{f_{mo}}} - 2^{\frac{21g \cdot f_{min}}{f_{mo}}} \right) . \end{aligned} \quad (3)$$

Сокращение длины органа Корти по причине возрастной эволюции приводит к сокращению восприятия человеком звукового диапазона в его ВЧ и НЧ области.

Литература

1. Helmholtz H. Die Lehre den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Braunschweig: F. Vieweg und Sohn; 1863.
2. von Békésy G. Experiments in Hearing. NY – Toronto – London: McGraw-Hill Book Co.; 1960.
3. Koenig W. A new frequency scale for acoustic measurements / W. Koenig // Bell Laboratory Record, 1949.
4. Овчинников Е.Л., Адыширин-Заде К.А., Александрова Н.А., Владимирова Т.Ю. Математическое обеспечение проблем биоакустики и психофизики слуха. 1. Дифференциальные уравнения в обосновании распределения слуховых рецепторов по частотам. // Сб.: Образование и наука: современное состояние и перспективы развития. Тамбов, 2014. С. 112-118.
5. Овчинников Е.Л., Адыширин-Заде К.А., Александрова Н.А., Владимирова Т.Ю. Математическое обеспечение проблем биоакустики и психофизики слуха. 2. Дифференциальные уравнения в обосновании возрастных изменений слуха. // Сб.: Образование и наука: современное состояние и перспективы развития. Тамбов, 2014. С. 118-124.
6. Овчинников Е.Л., Адыширин-Заде К.А., Александрова Н.А., Владимирова Т.Ю. Вычислительная биология внутреннего уха: апикальная связка мембран улиткового протока – от гипотезы к обсуждению. // Сб.: [Наука и образование](#): проблемы и перспективы развития. Тамбов, 2014. С. 117-121.
7. Овчинников Е.Л., Адыширин-Заде К.А., Александрова Н.А., Владимирова Т.Ю. Вычислительная биология внутреннего уха: расчет линейных параметров улиткового протока. // Сб.: [Наука и образование](#): проблемы и перспективы развития. Тамбов, 2014. С. 121-125.
8. Овчинников Е.Л., Ерёмина Н.В. Способ выявления биофизических процессов, реализующих механизм и биофизическую (волновую) модель слуха человека. // Патент RU № 2146878 С1 РФ от 27.03.2000 по заявке № 97111773 от 08.07.1997.

9. Овчинников Е.Л. Акустоволновая модель слуха: биофизическая концепция. Клинические приложения. // Росс. оториноларингол.– 2002. – № 3(3). – С. 71 – 76.

10. Ovchinnikov EL. Acoustic-wave hearing model, initial stage: the sound transduction in the inner ear. / E.L. Ovchinnikov, V.V. Ivanov, Yu.V. Ovchinnikova // European Science and Technology: 3rd International scientific conference, Munich, Germany, 2012, p. 524-535.

11. Ovchinnikov E.L. Acoustic-Wave Hearing Model, The Initial Stage-C: Hydroacoustics of the Inner Ear (Sound Field Formation in the Cochlea) // J. Appl. Bioinform. Comput. Biol., 2014, 3:2 , p. 1 of 6. <http://dx.doi.org/10.4172/2329-9533.1000112>.

12. Овчинников Е.Л. Акустоволновая модель слуха. Монография . / Е.Л. Овчинников // Изд. ScienceCentre, 2016, 128 с.

13. Альтман А.Я. Руководство по аудиологии / А.Я. Альтман, Г.А. Таварткиладзе // М.: ДМК Пресс, 2006.

14. Физиология человека. Т. 2. / Ред. Р.Ф.Шмидт, Г.Тевс // М: Мир, 1985.

15. .Krstić RV. Human microscopic Anatomy / RV. Krstić // Springer-Verlag. 2004.

16. Гистология / Ред. В.Г.Елисеева, Ю.И.Афанасьева, Н.А.Юриной // М.: Медицина, 1983.

Ovchinnikov E.L., Adyshirin-Zade K.A., Aleksandrova N.N., Vladimirova T.Yu., Minaeva T.I.

COMPUTER INNER EAR BIOLOGY: CORTI 'S ORGAN.

2. CALCULATION OF LINEAR (AXIAL) PARAMETERS

The Samara state medical university, Samara, Russia

The abstract

The purpose: Calculation of Corti 's organ length and average density of distribution of acoustical receptors.

Objects: Patients at audiometric inspection.

Methods: Audiometric inspection of patients, biomathematical (computer) modeling, numerical methods of the mathematical analysis.

Results: On the established distribution of co-ordinates of acoustical receptors and audiometry established top and bottom threshold frequencies of a perceived sound the noninvasive way of calculation of Corti 's organ length and average density of distribution of acoustical receptors is developed.

Keywords: Ovchinnikov 's acoustic-wave hearing model; distribution of acoustical receptors on frequencies, linear Corti 's organ parameters.